

(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES
PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum
Internationales Büro



(43) Internationales Veröffentlichungsdatum
10. Mai 2002 (10.05.2002)

PCT

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 02/36401 A1

(51) Internationale Patentklassifikation⁷: **B60T 8/00**

(21) Internationales Aktenzeichen: **PCT/EP01/12524**

(22) Internationales Anmeldedatum:

30. Oktober 2001 (30.10.2001)

KÜMMEL, Martin [DE/DE]; Heidenweg 2, 34286 Spangenberg (DE). **RAULFS, Henning** [DE/DE]; Karthäuser 4, 61352 Bad Homburg (DE). **MAY, Alexander** [DE/DE]; Schlüsselackerweg 12, 75382 Althengstett (DE).

(81) Bestimmungsstaaten (national): JP, US.

(25) Einreichungssprache:

Deutsch

(84) Bestimmungsstaaten (regional): europäisches Patent (AT, BE, CH, CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE, TR).

(26) Veröffentlichungssprache:

Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:

100 54 647.1 3. November 2000 (03.11.2000) DE

Veröffentlicht:

— mit internationalem Recherchenbericht

— vor Ablauf der für Änderungen der Ansprüche geltenden Frist; Veröffentlichung wird wiederholt, falls Änderungen eintreffen

(71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme von US): **CONTINENTAL TEVES AG & CO. OHG** [DE/DE]; Guerickestrasse 7, 60488 Frankfurt/Main (DE).

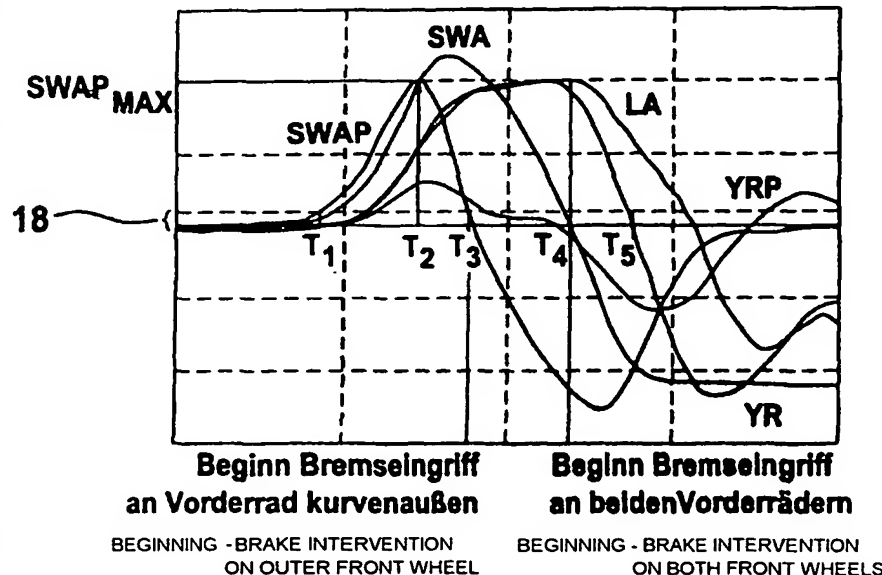
Zur Erklärung der Zweibuchstaben-Codes und der anderen Abkürzungen wird auf die Erklärungen ("Guidance Notes on Codes and Abbreviations") am Anfang jeder regulären Ausgabe der PCT-Gazette verwiesen.

(72) Erfinder; und

(75) Erfinder/Anmelder (nur für US): **WANKE, Peter** [DE/DE]; Budapeststr. 8, 60437 Frankfurt/Main (DE).

(54) Title: METHOD FOR REGULATING THE DRIVING STABILITY OF A VEHICLE

(54) Bezeichnung: VERFAHREN ZUR REGELUNG DER FAHRSTABILITÄT



(57) Abstract: The invention relates to a method for regulating the driving stability of a vehicle, whereby the pressures of the vehicle brakes are determined separately, according to several input variables in order to increase the driving stability of a vehicle, by means of individual wheel brake interventions. The driving stability of a vehicle can be increased in a stable driving condition if it is determined that there is a tendency towards unstable driving conditions as a result of highly dynamic steering. If this is the case, brake intervention occurs even when the vehicle exhibits a stable driving condition.

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Regelung der Fahrstabilität eines Fahrzeugs, bei dem in

Abhängigkeit von mehreren Eingangsgrößen Drücke für einzelne Bremsen des Fahrzeugs ermittelt werden, so daß durch radindividuelle Bremseneingriffe die Fahrstabilität erhöht wird. Um die Fahrstabilität eines Fahrzeugs zu erhöhen, wird bei einem stabilen Fahrverhalten ermittelt, ob anhand eines hochdynamischen Anlenkens eine Tendenz zu einem nachfolgenden instabilen Fahrverhalten vorliegt, wobei in diesem Fall ein Bremsen - Voreingriff bereits bei einem stabilen Fahrverhalten erfolgt.

Verfahren zur Regelung der Fahrstabilität

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Regelung der Fahrstabilität nach dem Oberbegriff des Anspruchs 1 oder 9.

Heftige Lenk- und Gegenlenkaktionen bei z.B. Ausweichmanövern, Spurwechseln, Freestyle u. dgl. können bei hohem Reibwert zu Fahrzeuginstabilitäten führen. Bei Fahrzeugen mit hohem Schwerpunkt besteht dabei vermehrt die Gefahr des Umkippens.

Um diesen Fahrzeuginstabilitäten selbsttätig entgegenzuwirken sind eine Vielzahl von Fahrstabilitätsregelungen bekannt geworden. Unter dem Begriff Fahrstabilitätsregelung vereinigen sich fünf Prinzipien zur Beeinflussung des Fahrverhaltens eines Fahrzeugs mittels vorgegebbarer Drücke bzw. Bremskräfte in oder an einzelnen Radbremsen und mittels Eingriff in das Motormanagement des Antriebsmotors. Dabei handelt es sich um Bremsschlupfregelung (ABS), welche während eines Bremsvorgangs das Blockieren einzelner Räder verhindern soll, um Antriebsschlupfregelung (ASR), welche das Durchdrehen der angetriebenen Räder verhindert, um elektronische Bremskraftverteilung (EBV), welche das Verhältnis der Bremskräfte zwischen Vorder- und Hinterachse des Fahrzeugs regelt, um eine Kippregelung (ARB), die ein Kippen des Fahrzeugs um seine Längsachse verhindert, sowie um eine Giermomentregelung (ESP), welche für stabile Fahrzustände beim Gieren des Fahrzeugs um die Hochachse sorgt.

Mit Fahrzeug ist also in diesem Zusammenhang ein Kraftfahrzeug mit vier Rädern gemeint, welches mit einer hydraulischen, elektro-hydraulischen oder elektro-mechanischen Bremsanlage ausgerüstet ist. In der hydraulischen Bremsanlage kann mittels eines pedalbetätigten Hauptzylinders vom Fahrer ein Bremsdruck

BESTÄTIGUNGSKOPIE

aufgebaut werden, während die elektro-hydraulischen und elektro-mechanischen Bremsanlagen eine vom sensierten Fahrerbremswunsch abhängige Bremskraft aufbauen. Im Folgenden wird auf eine hydraulische Bremsanlage Bezug genommen. Jedes Rad besitzt eine Bremse, welcher jeweils ein Einlaßventil und ein Auslaßventil zugeordnet sind. Über die Einlaßventile stehen die Radbremsen mit dem Hauptzylinder in Verbindung, während die Auslaßventile zu einem drucklosen Behälter bzw. Niederdruckspeicher führen. Schließlich ist noch eine Hilfsdruckquelle vorhanden, welche auch unabhängig von der Stellung des Bremspedals einen Druck in den Radbremsen aufzubauen vermag. Die Einlaß- und Auslaßventile sind zur Druckregelung in den Radbremsen elektromagnetisch betätigbar.

Zur Erfassung von fahrdynamischen Zuständen sind vier Drehzahlsensoren, pro Rad einer, ein Giergeschwindigkeitsmesser, ein Querschleunigungsmesser und mindest ein Drucksensor für den vom Bremspedal erzeugten Bremsdruck vorhanden. Dabei kann der Drucksensor auch ersetzt sein durch einen Pedalweg- oder Pedalkraftmesser, falls die Hilfsdruckquelle derart angeordnet ist, daß ein vom Fahrer aufgebauter Bremsdruck von dem der Hilfsdruckquelle nicht unterscheidbar ist.

Bei einer Fahrstabilitätsregelung wird das Fahrverhalten eines Fahrzeugs derart beeinflußt, daß es für den Fahrer in kritischen Situationen besser beherrschbar wird. Eine kritische Situation ist hierbei ein instabiler Fahrzustand, in welchem im Extremfall das Fahrzeug den Vorgaben des Fahrers nicht folgt. Die Funktion der Fahrstabilitätsregelung besteht also darin, innerhalb der physikalischen Grenzen in derartigen Situationen dem Fahrzeug das vom Fahrer gewünschte Fahrzeugverhalten zu verleihen.

Während für die Bremsschlupfregelung, die Antriebsschlupfregelung und die elektronische Bremskraftverteilung in erster Linie der Längsschlupf der Reifen auf der Fahrbahn von Bedeutung ist, fließen in die Giermomentregelung (GMR) weitere Größen ein, beispielsweise die Gierwinkelgeschwindigkeit und die Schwimmwinkelgeschwindigkeit. Kippregelungen werten in der Regel Querschleunigungs- oder Wankgrößen aus (DE 196 32 943 A1).

Wünschenswert wäre es, instabile Fahrsituationen, die vom Fahrer oftmals nicht beherrscht werden, von vornherein zu vermeiden, so daß kritischen Fahrsituationen erst gar nicht entstehen können.

Aus der DE 42 01 146 A1 ist ein System für die Vorhersage des Verhaltens eines Kraftfahrzeugs und für eine hierauf basierende Steuerung bekannt, das über eine Vielzahl von Beschleunigungssensoren verfügt, deren Daten mittels komplexer Berechnungen ausgewertet werden.

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren zur Regelung der Fahrstabilität zu schaffen, welches eine möglichst schnelle Reaktion auf vorhergesagte instabile Fahrsituationen mittels eines kritische Fahrsituationen abschwächenden oder vermeidenden Eingriffs erlaubt.

Erfindungsgemäß wird diese Aufgabe dadurch gelöst, daß ein gattungsgemäßes Verfahren so durchgeführt wird, daß bei einem stabilen Fahrverhalten ermittelt wird, ob anhand eines hochdynamischen Anlenkens eine Tendenz zu einem nachfolgenden instabilen Fahrverhalten vorliegt, und daß in diesem Fall ein Bremsen - Voreingriff bereits bei einem stabilen Fahrverhalten erfolgt.

Hierdurch wird eine kritische Fahrsituation bereits beim Entstehen entweder vermieden oder auf ein Maß reduziert, daß sie vom Fahrer beherrscht werden kann. Anhand der bei einem ESP-Regelungssystem vorhandenen Bremsanlage und Sensorik, mit den Ausstattungselementen

vier Raddrehzahlsensoren

Drucksensor (P)

Querbeschleunigungssensor (LA)

Gierratensensor (YR)

Lenkradwinkelsensor (SWA)

individuell ansteuerbare Radbremsen

Hydraulikeinheit (HCU)

Elektronik-Steuereinheit (ECU)

läßt sich eine Vorhersage einer kritischen Fahrsituation und vorzugsweise deren Vermeidung ohne zusätzliche Sensoren realisieren. Dabei wird die kritische Fahrsituation anhand eines hochdynamischen Anlenkens, bei dem der Lenkradwinkel als einzige Messgröße erfasst werden muß, vorhergesagt. Eine Ermittlung der Lenkradwinkelgeschwindigkeit erfordert dann nur geringe Zeit. Daher empfiehlt es sich, genau diese gemessene oder berechnete Lenkradwinkelgeschwindigkeit zur Vorhersage eines instabilen Fahrverhaltens heranzuziehen, um frühzeitig, und zwar bevor andere Messgrößen eine Vorhersage erlauben, korrigierende Schritte vornehmen zu können.

Zur frühzeitigen Vorhersage von instabilen Fahrzuständen wird das hochdynamische Anlenken in Abhängigkeit von dem zeitlichen Verlauf der Lenradwinkelgeschwindigkeit erkannt.

Es ist zweckmäßig, daß der Verlauf zwischen dem Verlassen eines Ruhebandes, das ein stationäres, stabiles Fahrverhalten wiedergibt, und dem Eintritt der Lenkradwinkelgeschwindigkeit in das Ruheband bewertet wird.

Vorteilhaft wird das hochdynamische Anlenken erkannt, wenn die folgenden Bedingungen erfüllt sind:

- a.) $|SWAP_{MAX}|/(T_2 - T_1) > \text{Schwellenwert1}$
- b.) $|SWAP_{MAX}|/(T_3 - T_2) > \text{Schwellenwert2}$
- c.) $|SWAP_{MAX}| > \text{Schwellenwert3}$

mit $SWAP$ = Lenkradwinkelgeschwindigkeit, $SWAP_{MAX}$ = Maximum der Lenkradwinkelgeschwindigkeit, T_1 = Zeitpunkt des Austritts der Lenkradwinkelgeschwindigkeit aus dem Ruheband, T_2 = Zeitpunkt des Maximums der Lenkradwinkelgeschwindigkeit, T_3 = Zeitpunkt des Eintritts der Lenkradwinkelgeschwindigkeit in das Ruheband. Dabei wird in a.) die durchschnittliche Lenkradwinkelbeschleunigung bis zum Erreichen der maximalen Lenkradwinkelgeschwindigkeit und in b.) die durchschnittliche Lenkradwinkelverzögerung bis zum Eintritt in das Ruheband gemessen. Liegen diese Meßwerte über den Schwellenwerten $S1$ bzw. $S2$, kann ein Anlenken als hochdynamisch eingeschätzt werden. Mit der Bedingung c.) wird das Maximum der Lenkradwinkelgeschwindigkeit selbst bewertet. Liegt diese oberhalb des gegebenen Schwellenwerts $S3$, kann davon ausgegangen werden, daß die Lenkamplitude groß genug ist, um ein instabiles Fahrverhalten (Fahrzustand) zu erzeugen.

Zur Vermeidung eines instabilen Fahrverhaltens erfolgt ein Bremsen - Voreingriff vorteilhaft bei stabilem Fahrverhalten, wenn zum Zeitpunkt T_3 des Eintritts der Lenkradwinkelgeschwindigkeit in das Ruheband die Beträge der Gierrate und/oder der Querbesehleunigung oberhalb vorgegebener Schwellenwerte $S7$ bzw. $S8$ liegen. Die Gierrate und die Querbesehleunigung werden also zum Aktivieren eines das Fahrzeugverhalten korrigierenden Schrittes, eines Bremsen - Voreingriffs, herangezogen. Die Gierrate und die Querbesehleunigung unterstützen dabei das Lenkradwinkelge-

schwindigkeits-Signal, mit der Information, ob Hochreibwert vorliegt. Liegen die Beträge der Gierrate und Querbesehleunigung oberhalb der Schwellenwerte S7 und S8, erfolgt der Bremsen - Voreingriff am kurvenäußeren Vorderrad.

Vorteilhaft sind die Schwellenwerte S1 bis S9 und das mit dem Bremsen - Voreingriff aufgebraehte Bremsmoment von der Fahrzeuggesehwindigkeit v_{Ref} und/oder dem Maximum der Lenkradwinkelgesehwindigkeit abhängig. Das aufgebraehte Bremsmoment ist dabei um so größer, je größer die Fahrzeuggesehwindigkeit und/oder je größer das Maximum der Lenkradwinkelgesehwindigkeit ist. Die Schwellenwerte S1 bis S9 werden mit zunehmender Fahrzeuggesehwindigkeit kleiner und mit Ausnahme von S3 mit zunehmendem Maximum der Lenkradwinkelgesehwindigkeit größer.

Es ist zweckmäßig, daß der Bremsen - Voreingriff solange erfolgt, wie die Bedingung $|SWAP_i - SWAP_{MAX}| / (t - T_2) > \text{Schwellenwert4}$ erfüllt ist d.h. solange nach einem erkannten hochdynamischen Anlenken eine ebenfalls hochdynamische Rücklenkbewegung vorliegt. Damit wird verhindert, daß nach einem hochdynamischen Anlenken, das in eine stationäre Kurvenfahrt mündet, ein unplausibel langer Bremsen - Voreingriff durchgeführt wird.

Bei extremem Gegenlenken während einer Kurvenfahrt mit hoher Querbesehleunigung werden durch die hohe Querdynamik der Karosserie Wankbewegungen (aus- und einfedern) erzeugt. Das Fahrzeug wird destabilisiert, mit der Gefahr des Kippens um die Längsachse. Gegenstand der Erfindung ist daher ferner, ein gattungsgemäßes Verfahren so weiterzubilden, daß bei einer stabilen Kurvenfahrt ermittelt wird, ob anhand der Lenkradwinkelgesehwindigkeit und der Querbesehleunigung eine Tendenz zu einem nachfolgenden instabilen Fahrverhalten

vorliegt, und daß in diesem Fall ein Bremsen - Voreingriff bereits bei einem stabilen Fahrverhalten erfolgt.

Es ist zweckmäßig, daß der Bremsen - Voreingriff beim Wechsel der Lenkrichtung (Nulldurchgang des Lenkradwinkels = $SWA(T_4)$) aktiviert wird, wenn die folgenden Bedingungen erfüllt sind:

$SWAP < \text{Schwellenwert } 5$ und

$LA > \text{Schwellenwert } 6$

oder

$SWAP > \text{Schwellenwert } 5$ und

$LA < \text{Schwellenwert } 6$

mit $SWAP = \text{Lenkradwinkelgeschwindigkeit}$, $LA =$

Querbeschleunigung. Dabei kann der Richtungssinn (Definition des Vorzeichens), ob es sich um eine Rechts- oder Linkskurve handelt, frei gewählt werden. So kann beispielsweise die Bedingung $SWAP < \text{Schwellenwert } 5$ einem Wechsel von einer Linkskurve nach einer Rechtskurve entsprechen.

Der Bremsen - Voreingriff wird beendet, wenn wenigstens eine der folgenden Bedingungen erfüllt ist:

a.) $|C1 \cdot SWAP + SWA| < \text{Schwellenwert } 9$

und/oder

b.) nach einem Gierratenmaximum wird ein Richtungswechsel (Nulldurchgang) der Gierrate festgestellt

und/oder

c.) eine maximale Eingriffszeitdauer ist überschritten.

In der Bedingung a.) wird zunächst ein PD-Kriterium zur kombinierten Bewertung des Lenkradwinkelausschlags (proportionaler Anteil P) und der Lenkradwinkelgeschwindigkeit (differenzierender Anteil D) gebildet und dies mit dem Schwellenwert $S9$ verglichen. Liegt das Kriterium oberhalb des Schwellenwertes, ist die Bedingung also nicht erfüllt, liegt die hochdynamische Gegenlenkbewegung zum betrachteten Zeitpunkt

weiterhin vor. Der Bremsen - Voreingriff kann daher fortgesetzt werden.

Mit der Bedingung b.) wird geprüft, ob der Bremsen - Voreingriff eventuell zu heftig war. Das ist dann der Fall, wenn das Fahrzeug der vom Fahrer vorgegebenen Lenkbewegung überhaupt nicht mehr folgt, d.h. die Gierrate einen Richtungswechsel (Nulldurchgang) vollzieht. Eine Fortsetzung des Bremsen - Voreingriffs ist unter diesen Umständen nicht sinnvoll.

Bedingung c.) sorgt für eine zeitliche Begrenzung des Bremsen - Voreingriffs. Es ist zweckmäßig, die maximale Eingriffszeitdauer in Abhängigkeit von der Fahrzeuggeschwindigkeit und/oder von der gemessenen Querbefschleunigung zum Beginn des Bremsen - Voreingriffs zu gestalten. Die maximale Eingriffszeitdauer ist um so größer, je größer die Fahrzeuggeschwindigkeit bzw. die Querbefschleunigung zum Eingriffsbeginn ist.

Der Bremseingriff erfolgt vorzugsweise an beiden Vorderrädern. Zum einen kann dadurch ein größeres Gesamtbremsmoment abgesetzt und damit das Fahrzeug stärker verzögert werden. Zum anderen müßte der Eingriff am kurvenäußeren Vorderrad so heftig ausfallen, daß das dadurch erzeugte Giermoment zu groß werden würde. Mit dem Bremseingriff am kurveninneren Vorderrad kann diesem zu großen Giermoment entgegengewirkt werden.

Bei den beschriebenen Gegenlenkbewegungen folgt der Nulldurchgang der Gierrate (T_5) kurze Zeit nach dem Nulldurchgang des Lenradwinkels (T_4), dem Beginn des Eingriffs an beiden Vorderrädern. Beim Nulldurchgang der Gierrate erfolgt ein Seitenwechsel des kurvenäußeren Vorderrades, das durch den vorhergehenden Druckaufbau an beiden Vorderrädern bereits vorgefüllt wurde, was die Druckdynamik erheblich erhöht und die

Verzugszeit zwischen Eingriffsbeginn und dem Erreichen des maximalen Bremsmoments drastisch reduziert.

Um eine dem vorhergesagten instabilen Fahrverhalten angepasste Korrekturmaßnahme während des stabilen Fahrverhaltens zu aktivieren, erfolgt das mit dem Bremsen - Voreingriff aufgebrauchte Bremsmoment in Abhängigkeit von der Fahrzeuggeschwindigkeit v_{Ref} und/oder der Querbeschleunigung und/oder dem Lenkradwinkelgradienten. Dabei erfolgt die Zeitdauer des Bremsen - Voreingriffs vorteilhaft in Abhängigkeit von der Fahrzeuggeschwindigkeit v_{Ref} und/oder der Querbeschleunigung und/oder dem Lenkradwinkelgradienten.

Ein Ausführungsbeispiel der Erfindung ist in der Zeichnung dargestellt und wird im Folgenden näher beschrieben.

Es zeigen

Figur 1 ein Beispiel eines doppelten Spurwechsels

Figur 2 erfindungsgemäß ausgewertete bzw. erzeugte Signalfolgen

Figur 3 ein Fahrzeug mit den Komponenten einer Fahrdynamikregelung

Figur 1 zeigt einen doppelten Spurwechsel, der beispielsweise gewünscht sein kann, wenn plötzlich einem Hindernis auszuweichen ist. 10 ist der gewünschte Kurs; das Fahrzeug bewegt sich längs der Positionen 11, 12, 13 und 14. Hier werden verschiedene Situationen nacheinander durchlaufen. Um den gewünschten Kurs insbesondere bei höheren Geschwindigkeiten zu durchfahren, ist zunächst ein hochdynamisches Anlenken mit vergleichsweise großem bzw. heftigem Lenkeinschlag der Vorderräder 15, 16 erforderlich (Position 11). Anschließend

erfolgt eine Rücklenkbewegung mit Lenkradwinkelnulldurchgang (Position 12) und nachfolgender Gegenlenkaktion zum Ende des ersten Spurwechsels (Position 13) und weiter zum zweiten Spurwechsel (Position 14). Wird ein solches Manöver auf hohem Reibwert ungebremst durchfahren, wird das Fahrzeug typischerweise zwischen Position 13 und Position 14 ab einer bestimmten Kombination aus Fahrzeuggeschwindigkeit, Lenkdynamik und Lenkamplitude zwangsweise instabil, d.h. es baut größere Schwimmwinkel auf (> 2 Grad), die für den Fahrer nicht mehr beherrschbar sind. Insbesondere Fahrzeuge mit hohem Fahrzeugschwerpunkt können durch die auftretende Querdynamik zu Nick- und Wankbewegungen angeregt werden, die im ungünstigsten Fall zum Kippen des Fahrzeugs um die Längsachse führen können. Ein ESP-Regler kann das instabile Fahrverhalten erkennen und korrigierend eingreifen, es kann jedoch das Entstehen des instabilen Zustands nicht verhindern. Um diese Gefahrensituation zu vermeiden, ist es notwendig, die Fahrzeuggeschwindigkeit wie auch die Lenkdynamik erfindungsgemäß durch einen frühzeitigen heftigen Bremseingriff zu reduzieren.

Figur 2 zeigt den Signalverlauf beim ersten Spurwechsel (Positionen 11 bis 13). Befindet sich das Fahrzeug in der Position 17, weist es ein stabiles Fahrverhalten auf, d.h. das Fahrzeug folgt der Fahrervorgabe ohne merkliche Differenz, der Schwimmwinkel liegt bei 0 Grad. Die von dem Regelungssystem der Bremsanlage zur Verfügung gestellten Signale SWAP (Lenkradwinkelgeschwindigkeit), SWA (Lenkradwinkel), LA (Quereschleunigung), YR (Gierrate) und (Gierwinkelgeschwindigkeit) befinden sich bei diesem stabilen Fahrzustand in einem Ruheband 18, das z.B. durch eine Lenkradwinkelgeschwindigkeit kleiner 40 bis 200 Grad/s gekennzeichnet ist. Wie Figur 2 zeigt, kann die beziehungsweise auf Figur 1 geschilderte Situation (hochdynamisches Anlenken) auftreten. Das hochdynamische Anlenken wird aus dem Verlauf der

Lenkradwinkelgeschwindigkeit SWAP zwischen dem Verlassen (Zeitpunkt T_1) und dem Eintritt (Zeitpunkt T_3) in das Ruheband 18 ermittelt. Ein eindeutiger Impuls des Lenkradwinkelgradienten SWAP charakterisiert dabei ein hochdynamisches Anlenken, das anhand der folgenden Bedingungen festgestellt wird:

- a.) $|SWAP_{MAX}| / (T_2 - T_1) > \text{Schwellenwert1}$
- b.) $|SWAP_{MAX}| / (T_3 - T_2) > \text{Schwellenwert2}$
- c.) $|SWAP_{MAX}| > \text{Schwellenwert3}$

mit SWAP = Lenkradwinkelgeschwindigkeit, $SWAP_{MAX}$ = Maximum der Lenkradwinkelgeschwindigkeit, T_1 = Zeitpunkt des Austritts der Lenkradwinkelgeschwindigkeit aus dem Ruheband 18, T_2 = Zeitpunkt des Maximums der Lenkradwinkelgeschwindigkeit, T_3 = Zeitpunkt des Eintritts der Lenkradwinkelgeschwindigkeit in das Ruheband 18. Es wird also die durchschnittliche Lenkradwinkelbeschleunigung bis zum Erreichen der maximalen Lenkradwinkelgeschwindigkeit und die durchschnittliche Lenkradwinkelverzögerung bis zum Eintritt in das Ruheband ermittelt. Liegt die Lenkradwinkelbeschleunigung oberhalb eines Wertes im Bereich von 600 bis 2000 Grad/s² (Schwellenwert S1), die Lenkradwinkelverzögerung oberhalb eines Wertes im Bereich von 800 und 2500 Grad/s² (Schwellenwert S2) und der Absolutwert des Maximums $SWAP_{MAX}$ oberhalb eines Wertes im Bereich von 250 bis 600 Grad/s² (Schwellenwert S3), kann ein Anlenken als hochdynamisch eingeschätzt werden. Die Lenkamplitude ist oberhalb S3 so groß, daß eine Tendenz zu einem nachfolgenden instabilen Fahrverhalten (Fahrzustand) vorausgesagt werden kann.

Sind die Bedingungen a.), b.) und c.) erfüllt und liegt zum Zeitpunkt T_3 des Eintritts der Lenkradwinkelgeschwindigkeit der Absolutwerte der Gierrate YR oberhalb eines Wertes im Bereich von z.B. 20 bis 40 Grad/s (Schwellenwert 7) und die

Querbeschleunigung LA oberhalb eines Wertes im Bereich von z.B. 4,5 bis 8 m/s^2 (Schwellenwert 8) wird der Bremseingriff am kurvenäußeren Vorderrad 16 gestartet.

Figur 3 zeigt schematisch ein Fahrzeug mit einem Bremsregelungssystem. In Figur 3 sind vier Räder 15, 16, 20, 21 gezeigt. An jedem der Räder 15, 16, 20, 21 ist je ein Radsensor 22 bis 25 vorgesehen. Die Signale werden einer elektronischen Komponente 28 zugeführt, die anhand vorgegebener Kriterien aus den Raddrehzahlen die Fahrzeuggeschwindigkeit v_{Ref} ermittelt. Weiterhin sind ein Gierratensensor 26, ein Querbeschleunigungssensor 27 und ein Lenkradwinkelsensor 29 mit der Komponente 28 verbunden. Jedes Rad weist außerdem eine Radbremse 30 bis 33 auf. Diese Bremsen werden hydraulisch betrieben und empfangen unter Druck stehendes Hydraulikfluid über Hydraulikleitungen 34 bis 37. Der Bremsdruck wird über einen Ventilblock 38 eingestellt, wobei der Ventilblock von elektrischen Signalen fahrerunabhängig angesteuert wird, die in der elektronischen Regelung 28 erzeugt werden. Über ein von einem Bremspedal betätigten Hauptzylinder kann von dem Fahrer Bremsdruck in die Hydraulikleitungen eingesteuert werden. In dem Hauptzylinder bzw. den Hydraulikleitungen sind Drucksensoren vorgesehen, mittels denen der Fahrerbremswunsch erfaßt werden kann.

Durch die Regelung 28 wird in dem Rad 16 der Bremsdruck individuell eingestellt. Beobachtet wird die Fahrzeuggeschwindigkeit v_{Ref} und die maximale Lenkradwinkelgeschwindigkeit $SWAP_{MAX}$ anhand der vom Lenkradwinkelsensor 29 und von den Radsensoren 22-25 abgegebenen Signalen. Nach Maßgabe der empfangenen Signale werden Ansteuersignale für die Ventile im Ventilblock 38 erzeugt. Dadurch wird ein Bremsmoment erzeugt, das geschwindigkeits- und $SWAP_{MAX}$ - abhängig ist. Je größer die Fahrzeuggeschwindigkeit und/oder $SWAP_{MAX}$ ist, um so größer ist das Bremsmoment. Durch das eingesteuerte Bremsmoment wird die

Längskraft am kurvenäußeren Vorderrad erhöht, die Seitenkraft jedoch nicht reduziert. Das Vorderrad 16 wird also mit geringen Schlupfwerten betrieben. Dadurch wird das Fahrzeug verzögert, ohne die Lenkfähigkeit zu stark einzuschränken. Parallel zu dem eingesteuerten Bremsmoment werden auch alle Schwellenwerte in Abhängigkeit von der Fahrzeuggeschwindigkeit v_{Ref} und der maximalen Lenkradwinkelgeschwindigkeit $SWAP_{MAX}$ berechnet. Die Schwellenwerte S1-S9 werden bei zunehmender v_{Ref} kleiner und bei zunehmendem Maximum SWAP größer (Ausnahme S3). Der Bremsen - Voreingriff bleibt solange aktiv, solange nach einem hochdynamischen Anlenken eine ebenfalls hochdynamische Rücklenkbewegung vorliegt. Wenn die Bedingung

$|SWAP_i - SWAP_{MAX}| / (t - T_2) > \text{Schwellenwert 4}$ (z.B. ein Wert im Bereich von 800 bis 3000 Grad/s²) erfüllt ist, wird auf eine solche Rücklenkbewegung geschlossen und der Bremsen - Voreingriff wird fortgesetzt. Er wird beendet, sobald obige Bedingung nicht mehr erfüllt ist.

Bei extremem Gegenlenken während einer Kurvenfahrt mit hoher Querbeschleunigung wird der Bremsen - Voreingriff beim Wechsel der Lenkrichtung, also zum Zeitpunkt T_4 des Nulldurchganges des Lenkradwinkels, von der Regelung 28 aktiviert. Dabei wird nach Maßgabe der Bedingung

$SWAP < 400 \text{ bis } 1000 \text{ Grad/s}^2$ (Schwellenwert 5) und

$LA > 5 \text{ bis } 10 \text{ m/s}^2$ (Schwellenwert 6)

oder

$SWAP > \text{Schwellenwert 5}$ und

$LA < \text{Schwellenwert 6}$

durch die Regelung 28 Bremsdruck vorzugsweise in den Vorderrädern 15, 16 individuell eingestellt. Die beiden Bedingungen erfassen dabei den Übergang von einer Links- zu einer Rechtskurve oder von einer Rechts- zu einer Linkskurve, der vom Vorzeichen abhängig ist. Durch den Bremsen - Voreingriff an den beiden Vorderrädern 15, 16 kann eine

Verringerung der Fahrzeuggeschwindigkeit v_{Ref} bei gleichzeitiger Verringerung der Seitenkraft des kurvenäußeren Rades 16 bei dem noch stabilen Fahrverhalten eingeleitet werden. Das in den Bremsen erzeugte Bremsmoment erfolgt wie vorstehend beschrieben in Abhängigkeit von v_{Ref} . Beobachtet wird bei dem hochdynamischen Gegenlenken in der Kurve zusätzlich die Querbeschleunigung LA und der Lenkradwinkelgradient $SWAP$. Die Querbeschleunigung zum Zeitpunkt T_4 ist ein Maß dafür, wie stark das Fahrzeug auf der kurvenäußeren Seite eingefedert ist, d.h. wieviel Energie im Federsystem gespeichert ist, die nach einem Kurvenwechsel beim Ausfedern Wankbeschleunigungsarbeit verrichten kann. Der Lenkradwinkelgradient zum Zeitpunkt T_4 gibt an, wie schnell der Kurvenwechsel und damit der Richtungswechsel der Zentrifugalkraft erfolgt. Die Überlagerung der Wankbeschleunigungen, verursacht durch die Ausfederarbeit und den Richtungswechsel der Zentrifugalkraft, kann zu den beschriebenen Fahrzeuginstabilitäten und zum Kippen des Fahrzeugs um die Längsachse führen. Liegen Querbeschleunigung und Lenkwinkelgradient im Zeitpunkt T_4 betragsmäßig über den Schwellwerten $S5$ bzw. $S6$ und liegen sie im Richtungssinn entgegengesetzt, ist ein Bremsen - Voreingriff erforderlich.

Der Bremsen - Voreingriff wird nach Maßgabe der folgenden Bedingungen beendet:

- a.) $|C1 \cdot SWAP + SWA| < 40$ bis 200 Grad (Schwellenwert 9)
mit $C1 = 0,05$ bis 04 s
- b.) nach einem Gierratenmaximum wird ein Richtungswechsel (Nullldurchgang) der Gierrate festgestellt
- c.) die maximale Eingriffszeitdauer ist überschritten.

In a.) werden der Lenkradwinkelausschlag (proportionaler Anteil) und die Lenkradwinkelgeschwindigkeit (differenzierender Anteil) mittels eines PD-Kriteriums bewertet. Liegt das

Bewertungsergebnis oberhalb eines Wertes im Bereich von z.B. 40 bis 200/s (Schwellenwert 9), liegt die hochdynamische Gegenlenkbewegung weiter hin vor, unterhalb wird der Bremsen - Voreingriff beendet.

Weiterhin wird der Bremsen - Voreingriff beendet, wenn das am kurvenäußeren Vorderrad 16 eingesteuerte Bremsmoment zu hoch war. Dies wird dann angenommen, wenn nach einem Bremsen - Voreingriff die Gierrate einen Richtungswechsel (Nulldurchgang) vollzieht.

Ferner wird die Fahrzeuggeschwindigkeit v_{Ref} und die Querbeschleunigung LA beobachtet und nach Maßgabe dieser Größen die Eingriffszeitdauer des Bremsen - Voreingriff begrenzt. Die maximale Eingriffszeitdauer ist um so größer, je größer die Fahrzeuggeschwindigkeit bzw. die Querbeschleunigung zum Eingriffsbeginn (T_4) ist.

Wie Figur 2 zeigt, folgt der Nulldurchgang der Gierrate YR zum Zeitpunkt T_5 nach dem Zeitpunkt T_4 des Nulldurchgangs des Lenkradwinkels SWA . Beim Nulldurchgang der Gierrate YR erfolgt in Position 13 ein Seitenwechsel des kurvenäußeren Vorderrades von 16 auf 15. Das Vorderrad 15 ist durch den vorhergehenden Druckaufbau an beiden Vorderrädern 15 und 16 bereits mit Hydraulikmittel vorbefüllt. Dadurch wird die Druckdynamik erheblich erhöht. Das maximale Bremsmoment wird unmittelbar in den Radbremsen 30-33 umgesetzt.

Wurden die beschriebenen Bremsen - Voreingriffe durchgeführt, so ist in Position 14 die Fahrzeuggeschwindigkeit und damit die erforderliche Querdynamik zum Durchfahren des Wunschkurses 10 soweit reduziert, daß nicht mit einer erneuten Tendenz zu einer Fahrzeuginstabilität gerechnet werden muß. Der Verlauf der betrachteten Signale ähnelt um Position 14 dem Verlauf in den Positionen 11 bis 13, jedoch werden die Schwellwerte nicht erreicht. Somit erfolgt in Position 14 kein Bremsen -

Voreingriff.

Ansprüche

1. Verfahren zur Regelung der Fahrstabilität eines Fahrzeugs, bei dem in Abhängigkeit von mehreren Eingangsgrößen Drücke für einzelne Bremsen des Fahrzeugs ermittelt werden, so daß durch radindividuelle Bremseingriffe die Fahrstabilität erhöht wird, dadurch gekennzeichnet, daß bei einem stabilen Fahrverhalten ermittelt wird, ob anhand eines hochdynamischen Anlenkens eine Tendenz zu einem nachfolgenden instabilen Fahrverhalten vorliegt, und daß in diesem Fall ein Bremsen - Voreingriff bereits bei einem stabilen Fahrverhalten erfolgt.

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß das hochdynamische Anlenken in Abhängigkeit von dem zeitlichen Verlauf der Lenkradwinkelgeschwindigkeit erkannt wird.

3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß der Verlauf zwischen dem Verlassen eines Ruhebandes, das ein stationäres, stabiles Fahrverhalten wiedergibt, und dem Eintritt der Lenkradwinkelgeschwindigkeit in das Ruheband bewertet wird.

4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, daß das hochdynamische Anlenken erkannt ist, wenn die folgenden Bedingungen erfüllt sind:

a.) $|SWAP_{MAX}| / (T_2 - T_1) > \text{Schwellenwert1}$

b.) $|SWAP_{MAX}| / (T_3 - T_2) > \text{Schwellenwert2}$

c.) $|SWAP_{MAX}| > \text{Schwellenwert3}$

mit $SWAP$ = Lenkradwinkelgeschwindigkeit, $SWAP_{MAX}$ = Maximum der Lenkradwinkelgeschwindigkeit, T_1 = Zeitpunkt des Austritts der Lenkradwinkelgeschwindigkeit aus dem Ruheband, T_2 = Zeitpunkt

des Maximums der Lenkradwinkelgeschwindigkeit, T_3 = Zeitpunkt des Eintritts der Lenkradwinkelgeschwindigkeit in das Ruheband.

5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, daß ein Bremsen - Voreingriff erfolgt, wenn zum Zeitpunkt T_3 des Eintritts der Lenkradwinkelgeschwindigkeit in das Ruheband die Beträge der Gierrate und/oder der Querbesehleunigung oberhalb vorgegebener Schwellenwerte S_7 bzw. S_8 liegen.

6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, daß der Bremsen - Voreingriff am kurvenäußeren Vorderrad erfolgt.

7. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, daß die Schwellenwerte S_1 bis S_8 und das mit dem Bremsen - Voreingriff aufgebrachte Bremsmoment in Abhängigkeit von der Fahrzeuggeschwindigkeit v_{Ref} und/oder dem Maximum der Lenkradwinkelgeschwindigkeit erfolgt.

8. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 7, dadurch gekennzeichnet, daß der Bremsen - Voreingriff solange erfolgt, wie die Bedingung $|SWAP_i - SWAP_{MAX}| / (t - T_2) > \text{Schwellenwert}_4$ erfüllt ist.

9. Verfahren zur Regelung der Fahrstabilität eines Fahrzeugs, bei dem in Abhängigkeit von mehreren Eingangsgrößen Drücke für einzelne Bremsen des Fahrzeugs ermittelt werden, so daß durch radindividuelle Bremseingriffe die Fahrstabilität erhöht wird, insbesondere nach einem der Ansprüche 1 bis 8, dadurch gekennzeichnet, daß bei einer stabilen Kurvenfahrt ermittelt wird, ob anhand der Lenkradwinkelgeschwindigkeit und der Querbesehleunigung eine Tendenz zu einem nachfolgenden instabilen Fahrverhalten vorliegt, und daß in diesem Fall ein

Bremsen - Voreingriff bereits bei einem stabilen Fahrverhalten erfolgt.

10. Verfahren nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, daß der Bremsen - Voreingriff beim Wechsel der Lenkrichtung (Nulldurchgang des Lenkradwinkels SWA_{T_4}) aktiviert wird, wenn die folgenden Bedingungen erfüllt sind:

$SWAP < \text{Schwellenwert } 5$ und

$LA > \text{Schwellenwert } 6$

oder

$SWAP > \text{Schwellenwert } 5$ und

$LA < \text{Schwellenwert } 6$

mit $SWAP = \text{Lenkradwinkelgeschwindigkeit}$, $LA = \text{Querbeschleunigung}$.

11. Verfahren nach Anspruch 9 oder 10, dadurch gekennzeichnet, daß der Bremsen - Voreingriff beendet wird, wenn wenigstens eine der folgenden Bedingungen erfüllt ist:

a.) $|C1 \cdot SWAP + SWA| < \text{Schwellenwert } 9$

und/oder

b.) nach einem Gierratenmaximum wird ein Richtungswechsel (Nulldurchgang) der Gierrate festgestellt

und/oder

c.) die maximale Eingriffszeitdauer ist überschritten.

12. Verfahren nach einem der Ansprüche 9 bis 11, dadurch gekennzeichnet, daß der Bremsen - Voreingriff an beiden Vorderrädern erfolgt.

13. Verfahren nach einem der Ansprüche 9 bis 12, dadurch gekennzeichnet, daß das mit dem Bremsen - Voreingriff aufgebrachte Bremsmoment in Abhängigkeit von der Fahrzeuggeschwindigkeit v_{Ref} und/oder der Querbeschleunigung und/oder dem Lenkradwinkelgradienten erfolgt.

14. Verfahren nach einem der Ansprüche 9 bis 13, dadurch gekennzeichnet, daß die Zeitdauer des Bremsen - Voreingriffs in Abhängigkeit von der Fahrzeuggeschwindigkeit v_{Ref} und/oder der Querbesehleunigung und/oder dem Lenkradwinkelgradienten erfolgt.

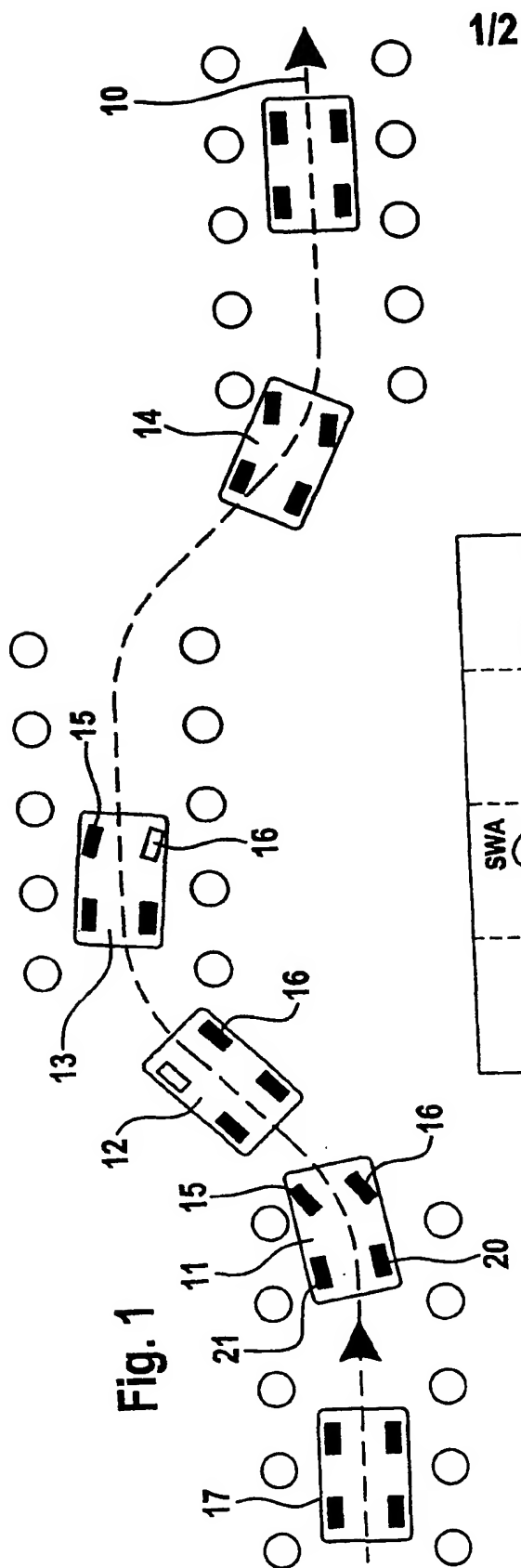


Fig. 1

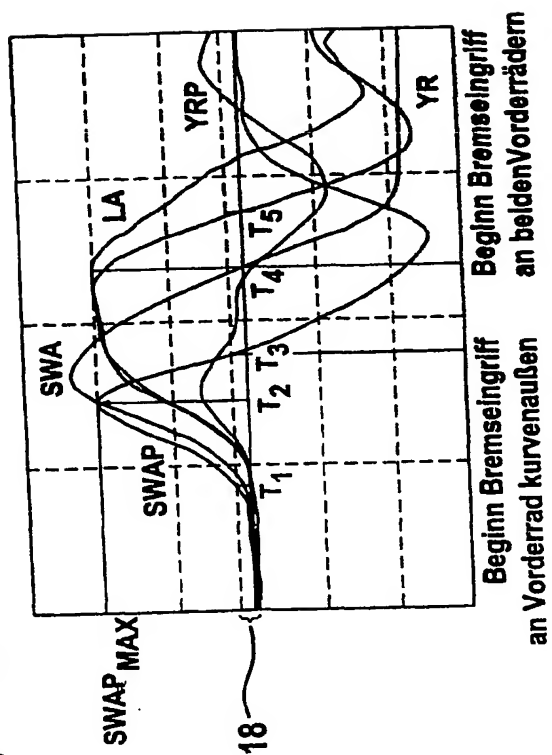
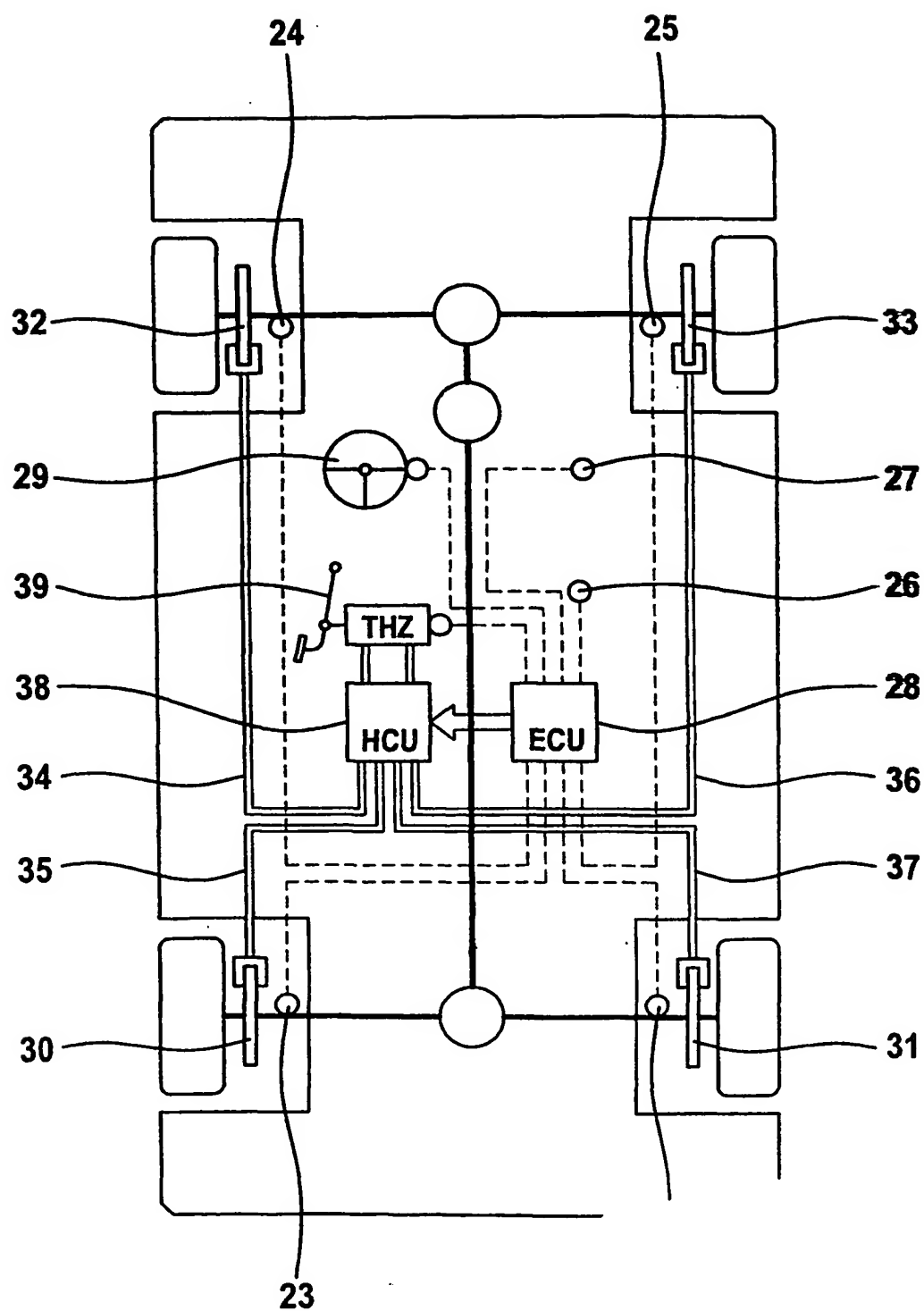


Fig. 2

Fig. 3



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No
PCT/EP 01/12524

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

IPC 7 B60T8/00

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

IPC 7 B60T

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used)

EPO-Internal

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	DE 198 13 736 A (MAZDA MOTOR) 15 October 1998 (1998-10-15) claims 1,3,6,8	1,2,6,7, 9,12,13
A	WO 99 67115 A (CONTINENTAL TEVES AG & CO OHG ;DUIS HOLGER (DE); ENDRESS RALF (DE)) 29 December 1999 (1999-12-29) claims 4-9	1-5,9,13
A	DE 195 03 148 A (TOYOTA MOTOR CO LTD) 3 August 1995 (1995-08-03) page 3, line 26 - line 52 figure 7	1-3,5,7, 9,13
A	DE 44 19 650 A (VOLKSWAGENWERK AG) 13 July 1995 (1995-07-13) column 4, line 46 -column 5, line 49 figures 1-3	1,2,7,9, 10,13
	--- -/-	

☒ Further documents are listed in the continuation of box C.

☒ Patent family members are listed in annex.

* Special categories of cited documents :

- *A* document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
- *E* earlier document but published on or after the international filing date
- *L* document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
- *O* document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
- *P* document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

- *T* later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
- *X* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
- *Y* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art.
- *G* document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

27 February 2002

Date of mailing of the international search report

06/03/2002

Name and mailing address of the ISA

European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,
Fax: (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Colonna, M

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

In **onal Application No**
PCT/EP 01/12524

C.(Continuation) DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	DE 41 09 925 A (NISSAN MOTOR) 2 October 1991 (1991-10-02) claim 1	1,2,9
A	DE 197 33 676 A (ITT MFG ENTERPRISES INC) 11 February 1999 (1999-02-11) claim 5	1,9,13

Form PCT/ISA/210 (continuation of second sheet) (July 1992)

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

In **onal Application No**
PCT/EP 01/12524

Patent document cited in search report		Publication date	Patent family member(s)	Publication date
DE 19813736	A	15-10-1998	JP 10264798 A DE 19813736 A1 US 6089680 A	06-10-1998 15-10-1998 18-07-2000
WO 9967115	A	29-12-1999	DE 19919180 A1 DE 19981128 D2 WO 9967115 A1 EP 1089901 A1	02-11-2000 10-05-2001 29-12-1999 11-04-2001
DE 19503148	A	03-08-1995	JP 7215190 A DE 19503148 A1 US 5640324 A	15-08-1995 03-08-1995 17-06-1997
DE 4419650	A	13-07-1995	DE 4419650 A1	13-07-1995
DE 4109925	A	02-10-1991	JP 3276856 A DE 4109925 A1 US 5267783 A	09-12-1991 02-10-1991 07-12-1993
DE 19733676	A	11-02-1999	DE 19733676 A1 WO 9907589 A1 JP 2001516664 T	11-02-1999 18-02-1999 02-10-2001